

ADSORPSI EMISI GAS CO, NO, DAN NO_x MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI LIMBAH KULIT BUAH KAKAO (*Theobroma cacao L.*) PADA KENDARAAN BERMOTOR RODA EMPAT

Ferawati Tamar Jaya ^{1*}, Abd. Wahid Wahab¹, Maming¹

^{1*}Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan 90245

Abstrak. Telah dilakukan penelitian adsorpsi emisi gas CO, NO, dan NO_x menggunakan karbon aktif dari limbah kulit buah kakao pada kendaraan bermotor roda empat yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dari limbah kulit buah kakao dengan variasi konsentrasi ZnCl₂ dan mengetahui perbandingan antara kadar adsorpsi emisi gas CO, NO, dan NO_x pada kendaraan bermotor roda empat dengan baku mutu pencemaran udara. Karbon aktif dibuat dari limbah kulit buah kakao melalui tahap dehidrasi, karbonisasi, dan diaktivasi menggunakan larutan ZnCl₂ 6, 8 dan 10% (b/v) selama 24 jam. Tahap pengujian kualitas karbon aktif sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI-063730-95) dan daya adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan dilakukan dengan cara dimasukkan ke dalam tabung adsorpsi dan dipasang pada saluran gas buang kendaraan BUS Mistsubishi tahun 2004 dilakukan pengukuran emisi gas dengan alat PEM-9004. Mutu karbon aktif yang baik adalah yang teraktivasi ZnCl₂ 10% dengan kadar air 1,97%, kadar abu 4,44%, kadar zat mudah menguap 3,35%, dan kadar karbon terikat 92,21%. Kadar emisi gas NO dan NO_x yang teradsorpsi sebesar 50% yaitu dari 69 ppm menjadi 30 ppm masih diatas batas toleransi emisi gas NO dan NO_x sebesar 0,25 ppm; sedangkan kadar emisi gas CO yang teradsorpsi sebesar 70% yaitu dari 500 ppm menjadi 150 ppm masih diatas batas toleransi emisi gas CO sebesar 32 ppm. Penyerapan emisi gas tersebut bersesuaian dengan data analisis FTIR yang menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif yang mengandung gugus fungsi C=O; C-O; OH; C-H; CH₂; CH₃; dan sesuai analisis SEM menunjukkan jumlah dan diameter pori yang meningkat dengan adanya aktivasi ZnCl₂ dan didominasi oleh makropori.

Kata kunci: PEM-9004, karbon aktif, kulit kakao, FTIR, dan SEM.

Abstract. Research about gas emissions adsorption of CO, NO dan NO_x using activated carbon from waste cocoa fruit on motor vehicles that aims to determine the ability of activated carbon from waste cocoa fruit with variation concentrations of ZnCl₂ and the knowing the comparison between the levels of emission gas adsorption CO, NO, and NO_x on a four-wheeled motor vehicle with the raw quality of air pollutions. Activated carbon waste made from cacao fruit of the skin through the stage of dehydration, carbonasi, and using solution ZnCl₂ 6,8 and 10 % of (b/v) for 24 hours, then the stage performed of testing carbon activated in National Standard Indonesian (SNI-063730-95) and adsorption

*alamat korespondensi: fhchemistry26@yahoo.co.id

activated carbon produced. The measurement of gas emissions performed in bus mitsubishi 2004 with an instrument PEM-9004. The evaluation of the chemical structure activated carbon was done by using infrared spektrofotometri (FTIR), and an electron microscope (shem). The measurement data gas emission levels were analyzed and compared with quality standard of air pollution in flue gas on motor vehicle with four wheels. The best quality activated carbon is produced at 10 % switched to ZnCl₂ 1,97 % with the water level 4,44 % levels of ashes 3,35% volatile levels of substance, and bound 92,21 % of carbon. NO gas emissions and Nox levels of before and after the measurement in use which is activated carbon ZnCl₂ 10 % to 30 % ppm of 69, while NO tolerance gas emissions and NO_x is 1 ppm, to this research is the absorption about 50 % and CO emissions generated before and after by using switched carbon to around 500 ppm ZnCl₂ 10 % to 150 ppm, in this research the absorption is about 70 %. Analysis FTIR shows that the surface of containing carbon active ties C=O, C-O, C-H, CH₂, CH₃, and analysis shem shows the number and diameter of increases pore with the activator substance and dominated by makropor.

Key words: PEM-9004, Activated Carbon Cacao or the Skin FTIR, and SEM.

A. PENDAHULUAN

Kota Makassar merupakan kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia, memiliki luas area 175,79 km² dengan penduduk 1.112.688. Untuk menunjang mobilitas dan aktivitas masyarakat tersebut maka sarana transportasi merupakan kebutuhan yang mutlak diperlukan. Semakin meningkatnya transportasi darat maka semakin meningkat pencemaran udara yang dihasilkan. Jumlah kendaraan roda empat pada tahun 2011 mencapai 154.094 unit atau meningkat hingga 8% dari tahun 2010. Menurut Sekretaris kota (Sekkot) Makassar, Jaya (2013), selama tiga tahun terakhir, jumlah kendaraan di Makassar khususnya kendaraan bermobil mencapai 1 juta unit pada tahun 2012 atau terjadi penambahan sebesar 10% setiap tahunnya. Menurut kementerian lingkungan hidup tahun 2009

tingginya angka ketidaklulusan uji emisi pada kendaraan bermotor roda empat khususnya yang berbahan bakar bensin sebesar 57% dibanding dengan yang berbahan bakar bensin sebesar 12%. Semakin tinggi angka ketidaklulusan uji emisi pada kendaraan bermotor roda empat maka akan semakin banyak menimbulkan pencemaran udara yang dihasilkan. Menurut Program Studi Teknik Lingkungan (2009), pencemaran udara merupakan suatu zat yang berada di atmosfer dalam konsentrasi tertentu yang bersifat membahayakan manusia, binatang, tumbuhan atau benda-benda lain. Beberapa polutan yang dihasilkan pada kendaraan tersebut adalah emisi gas CO, NO, dan NO_x. Menurut Irawan, 2006, Kadar emisi gas CO dan NO_x berkisar antara 69,1 dan 9,1 juta ton per tahunnya. Untuk menghindari atau mengurangi konsentrasi emisi gas pada kendaraan

bermotor diperlukan suatu zat yang dapat berpotensi untuk menyerap atau mengadsorpsi gas tersebut yaitu berupa karbon aktif. Material yang baik digunakan untuk membuat karbon aktif adalah material yang mengandung lignoselulosa yaitu kulit buah kakao sebesar 54%.

Penelitian ini diarahkan untuk memanfaatkan bahan baku alternatif dalam pembuatan karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben emisi gas CO, NO, dan NO_x pada kendaraan bermotor roda empat khususnya di daerah perkotaan yaitu Makassar. Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini dipelajari kemampuan karbon aktif dari kulit buah kakao yang diaktivasi dengan ZnCl₂ dalam mengadsorpsi emisi gas CO, NO, dan NO_x pada kendaraan bermotor roda empat menggunakan alat PEM-9004 Analyzer.

B. METODE PENELITIAN

1 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit buah kakao, ZnCl₂ p.a, kain, kawat besi, plat aluminium, akuades, *tissue roll*, kertas saring Whatmann 41, aluminium foil, dan kertas pH universal.

2. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Portable Emission Measurement (PEM) 9004 Analyzer*, neraca analitik (Shimadzu AW220), penyaring Buchner, pompa vakum (ABM tipe 4EK F6 3CX-4), SEM-EDX Tescan Vega3SB, cawan porselin, Tanur (*Muffle Furnace Type 6000*), oven (tipe

SPNISOSFD), desikator, ayakan 40 mesh, Bus Mitsubishi, erlenmeyer 250 mL, statif, klem, kaca arloji, labu semprot, sendok, mortar, gelas umum yang digunakan di laboratorium, dan gegep.

3. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Hasanuddin dan di luar Lapangan (Central Workshop Unhas). Penelitian ini telah dilakukan pada bulan September sampai bulan Oktober ditahun 2014.

4. Prosedur Penelitian

a. Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Buah Kakao (Masitoh dan Sianita-B, 2013):

Tahap pembuatan karbon aktif dari kulit kakao adalah sebagai berikut menurut Masitoh dan Sianita-B, 2013:

1. Dehidrasi: Kulit buah kakao dicuci dengan akuades kemudian dijemur dibawah sinar matahari selama 8 jam.
2. Karbonisasi: 1 kg kulit buah kakao dimasukkan kedalam tungku selama 20 menit hingga kulit buah kakao menjadi arang. Arang yang diperoleh didinginkan, dihaluskan dengan nampang dan diayak menggunakan ayakan 40 mesh.
3. Aktivasi: 50 gram arang dimasukkan ke dalam gelas kimia 500 mL kemudian ditambahkan 100 mL larutan ZnCl₂ 6, 8, 10% (b/v) selama 24 jam, disaring

dengan corong *Buchner*, residu dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral. Selanjutnya dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100 °C selama 2 jam.

b. Tahap pengujian Karbon Aktif

• Penentuan Kadar Air (Fauziah, 2009)

± 1,000 gram karbon aktif ditimbang dan dimasukkan ke dalam cawan porselen. Dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 2 jam 30 menit. Kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang (sampai berat tetap). Selanjutnya dihitung % kadar air dengan rumus sebagai berikut menurut (Masitoh dan Sianita-B, 2013):

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

a = bobot sebelum pemanasan (g)

b = bobot setelah pemanasan (g)

• Penentuan Kadar Abu (Fauziah, 2009)

± 1,000 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah ditentukan bobot keringnya. Selanjutnya dipanaskan di dalam tanur pada suhu 600 °C selama 2 jam. Setelah itu didinginkan di dalam desikator selama 1 jam dan ditimbang. Hingga diperoleh bobot yang konstan. Kemudian dihitung % kadar abu dengan rumus sebagai berikut menurut (Masitoh dan Sianita-B, 2013):

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

a = bobot awal contoh (g)

b = bobot akhir contoh (g)

• Penentuan Kadar Zat Mudah Menguap (Fauziah, 2009)

± 1,000 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah diketahui bobot keringnya. Selanjutnya dipanaskan dalam tanur pada suhu 700 °C selama 10 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 1 jam dan ditimbang. Selanjutnya dihitung % kadar zat yang mudah menguap dengan rumus sebagai berikut menurut (Masitoh dan Sianita-B, 2013):

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

a = bobot sebelum pemanasan (g)

b = bobot setelah pemanasan (g)

• Analisa Kadar Karbon Terikat (Satmoko, 2013)

Karbon dalam karbon aktif adalah zat selain abu dan zat atsiri. Kadar karbon terikat dapat dihitung pada persamaan berikut (Satmoko, 2013):

Kadar Karbon terikat : 100% - (kadar zat menguap + kadar abu)

c. Pembuatan Tabung Adsorpsi

Tabung adsorpsi ini bertujuan untuk menyimpan karbon aktif sebagai media penyerap (adsorben) pada emisi gas CO₂, NO, NO_x. Rincian spesifikasi tabung adsorpsi adalah sebagai berikut:

1. Tabung Bagian Dalam

a. Panjang tabung

: 13,5 cm

b. Diameter tabung

: 8 cm

2. Tabung Bagian Luar

- a. Panjang tabung
: 17,5 cm
- b. Diameter tabung
: 10 cm



Gambar 1. Rancangan Tabung Adsorpsi

d. Pengukuran Emisi Gas CO, NO, dan NO_x

Kendaraan yang akan diukur ditempatkan pada posisi datar. Probe alat uji PEM 9004 diletakkan tepat di dalam knalpot. Kemudian kendaraan dinyalakan selama 1 menit. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi instrument PEM-9004 selama 1 menit, setelah itu, dilakukan pengukuran dengan variasi waktu 1-5 menit. Kemudian hasil pengukuran emisi gas akan ditampilkan pada layar PEM-9004 dan dilakukan pengambilan data konsentrasi gas yang terukur pada alat uji. Selanjutnya dilakukan pengukuran emisi gas dengan menggunakan tabung adsorpsi yang dipasang pada knalpot. Tabung adsorpsi berisi karbon murni dari kulit buah kakao dengan tabung adsorpsi yang masing-masing berisi karbon aktif dari kulit buah kakao dengan variasi konsentrasi ZnCl₂ 6; 8; 10%.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

• Preparasi Sampel Kulit Buah Kakao

Hal pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah preparasi

sampel. Kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif dikumpulkan dari hasil perkebunan coklat Sidrap. Kulit buah kakao dikeringkan dibawah sinar matahari selama satu minggu hingga kering berwarna kecoklatan. Selanjutnya, limbah kulit buah kakao dibersihkan dari kotoran dengan air, kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari. Limbah kulit buah kakao yang telah dibersihkan diambil secara acak dan dimasukkan kedalam lumpang besar dan ditumbuk hingga ukurannya menjadi lebih kecil. Kemudian dicuci dengan air dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Adapun hasil preparasi sampel dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



(a) (b) (c)
Gambar 2 (a) Buah kakao (b) Kulit buah kakao (c) Hasil preparasi kulit buah kakao

• Proses Pembuatan Karbon

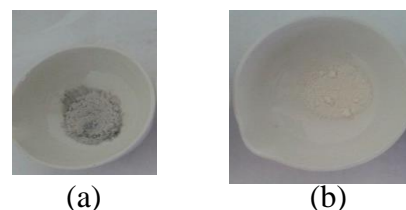
Setelah melalui tahap preparasi sampel selanjutnya dilakukan tahap pembuatan karbon aktif. Tahap pembuatan karbon aktif menurut Danarto dan Samun-T (2008) adalah tahap dehidrasi, tahap karbonisasi, dan tahap aktivasi. Tahap dehidrasi dalam penelitian ini, dilakukan dengan cara sampel limbah kulit buah kakao dicuci dengan akuades sebanyak tiga kali kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari

selama 8 jam. Kulit buah kakao yang telah melalui proses dehidrasi, dikarbonisasi dalam tungku selama 20 menit hingga menjadi arang. Arang yang diperoleh didinginkan dan diayak menggunakan ayakan 40 mesh. Selanjutnya dilakukan tahap akhir yaitu tahap aktivasi menggunakan ZnCl_2 sebagai *activating agent*. Menurut Masitoh dan Sianita-B (2013), *activating agent* yang baik digunakan khususnya untuk membuat karbon aktif dari kulit buah kakao adalah ZnCl_2 .

• Tahap Aktivasi

Menurut Fauziah 2009, proses aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori-pori yaitu dengan cara memecahkan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia yaitu luas permukaannya bertambah luas dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Adapun metode aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia sebagai pengaktifannya sedangkan aktivasi fisika yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan cara pemanasan dengan temperatur 300-700 °C, uap dan CO_2 . Aktivasi fisika tidak dilakukan pada penelitian karena pada pemanasan 300 °C sampel dengan cepat menjadi abu,

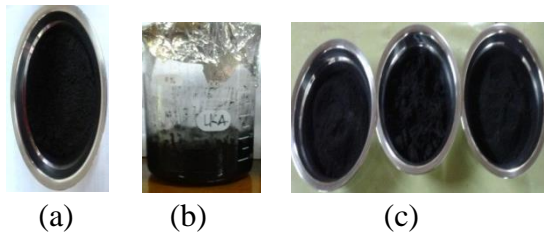
Gambar (3) Hal ini dikarenakan pada tahap karbonisasi terdapat oksigen pada saat proses pirolisis. Menurut Nugraha (2005) dalam Fauziah (2009), menyatakan bahwa proses pirolisis adalah salah satu proses pengurangan yang mendekomposisi material organik tanpa mengandung oksigen. Apabila ada oksigen pada saat pirolisis maka akan ada reaksi dengan material lain yang pada akhirnya akan menghasilkan abu. Pada proses pirolisis terhadap senyawa lignin akan terdegradasi sebagai akibat kenaikan suhu sehingga dihasilkan senyawa-senyawa karakteristiknya. Adapun hasil aktivasi pada suhu 300 °C dan 700 °C dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. (a) Hasil aktivasi pada suhu 300 °C; (b) Hasil aktivasi pada suhu 700 °C

Pada tahap aktivasi kimia, 50 gram sampel arang ditambahkan dengan larutan ZnCl_2 6, 8, dan 10% sebanyak 100 mL pada wadah gelas kimia yang terpisah. Kemudian dibiarkan terendam selama 24 jam. Hasil perendaman disaring menggunakan kertas saring whatman No. 41. Residu dicuci dengan akuades hingga pH 7. Setelah disaring dipanaskan pada suhu 105 °C, hal ini dilakukan karena pada

suhu 105 °C air telah menguap secara sempurna. Kemudian sampel disimpan di desikator. Proses pembuatan karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4 (a) Arang; (b) Arang dengan $ZnCl_2$; (b) Hasil pemanasan karbon aktif kulit kakao $ZnCl_2$ 6, 8, dan 10% pada Suhu 100 °C

• Pengujian Karbon Aktif dari

Jenis Karbon	Kadar Air (%)	SNI (%)
Karbon sebelum Aktivasi	13,95	Max 15
Karbon Aktif 6 %	8,36	
Karbon Aktif 8 %	4,59	
Karbon Aktif 10 %	1,97	

kulit buah kakao

Kualitas karbon aktif diuji atau dinilai berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, dan kadar karbon terikat.

1. Uji Kadar Air

Kadar air berpengaruh besar terhadap kualitas karbon aktif. Berdasarkan hasil penelitian bahwa kadar air yang diperoleh berkisar

antara 1,97-8,36%. Kadar air terendah terdapat pada karbon aktif yang diaktivasi dengan $ZnCl_2$ 10% yaitu sebesar 1,97%. Rendahnya kadar air ini diduga karena permukaan arang aktif lebih sedikit mengandung gugus fungsi yang bersifat polar sehingga interaksi antara uap air yang bersifat polar juga sedikit (Pari et al. 2008 dalam Fauziah 2009). Kurang polarnya permukaan arang aktif sehingga karbon aktif lebih sedikit mengikat gugus hidroksil pada air, sehingga luas permukaan arang aktif semakin besar dan pori-pori arang semakin banyak. Sehubungan dengan itu, maka karbon aktif dari kulit buah kakao yang diaktivasi dengan $ZnCl_2$ 10% diduga lebih baik digunakan sebagai adsorben dibanding karbon lainnya. Untuk uji kadar air pada karbon aktif kulit buah kakao secara keseluruhan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 063730-95, (Anonim 1995 dalam Fauziah 2009) untuk karbon aktif, karena kurang dari 15% (Tabel 1).

Tabel 1 Hasil analisis kadar air

2. Uji Kadar Abu

Kadar abu merupakan sisa dari pembakaran yang sudah tidak memiliki unsur karbon dan nilai kalor lagi. Tujuan penetapan kadar abu adalah untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam arang aktif. Nilai kadar abu menunjukkan jumlah sisa dari akhir proses pembakaran berupa zat-zat mineral yang tidak hilang selama proses pembakaran. Menurut Sudrajat 1985 dalam Fauziah 2009,

peningkatan kadar abu terjadi karena terbentuknya garam-garam mineral pada saat proses pengarangan yang bila proses tersebut berlanjut akan membentuk partikel-partikel halus dari garam-garam mineral tersebut. Kadar abu dipengaruhi oleh besarnya kadar silikat, semakin besar kadar silikat maka kadar abu yang dihasilkan akan semakin besar (Pari

Jenis Karbon	Kadar Zat Menguap (%)	SNI (%)
Karbon sebelum Aktivasi	14,98	Max 25
Karbon Aktif 6 %	8,39	
Karbon Aktif 8 %	6,83	
Karbon Aktif 10 %	3,35	

1996 dalam Fauziah 2009).

Pengujian kadar abu dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu 600 °C. Kadar abu arang aktif yang diperoleh berkisar antara 4,44-10,02% tergantung pada konsentrasi $ZnCl_2$ (Tabel 2). Kadar abu yang terendah adalah hasil karbon aktif $ZnCl_2$ 10% sebesar 4,44%. Rendahnya kadar abu ini diduga karena adanya pelarutan oksida-oksida logam oleh aktivator $ZnCl_2$, sehingga luas permukaan arang aktif semakin besar dan pori-pori arang semakin banyak. Secara keseluruhan untuk uji kadar abu pada karbon aktif dari kulit buah kakao yang diperoleh telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 063730-95 (Anonim

1995 dalam Fauziah 2009).
Tabel 2 Hasil analisis kadar abu

3. Uji Kadar Zat Mudah Menguap

Kadar zat mudah menguap merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun arang akibat proses pemanasan selama pengarangan dan bukan komponen penyusun arang (Pari 2004 dalam Fauziah 2009). Arang dengan kadar zat menguap yang tinggi akan menghasilkan asap pembakaran yang tinggi pula pada saat arang tersebut digunakan. Tujuan penetapan kadar zat menguap yaitu untuk mengetahui besarnya kandungan senyawa *volatile* di dalam arang aktif sebagai hasil dari interaksi antara karbon dengan uap air.

Tabel 3 Hasil analisis kadar zat mudah menguap

Berdasarkan hasil penelitian uji kadar zat mudah menguap dapat dilihat pada Tabel 3 memperlihatkan nilai kadar zat mudah menguap arang kulit kakao berkisar antara 3,35-8,39%. Kadar zat menguap yang terendah dimiliki oleh karbon yang teraktivasi $ZnCl_2$ 10% yaitu sebesar

Jenis Karbon	Kadar Abu (%)	SNI (%)
Karbon sebelum Aktivasi	15,35	Max 10
Karbon Aktif 6 %	10,02	
Karbon Aktif 8 %	8,09	
Karbon Aktif 10 %	4,44	

3,35%. Rendahnya kadar zat menguap diduga karena menguapnya senyawa-senyawa non karbon yang bersifat volatil pada proses karbonisasi. Sehubungan dengan hal itu, untuk proses adsorpsi kadar zat menguap yang rendah diduga lebih baik dibanding dengan yang tinggi karena akan semakin luas permukaan pori-pori pada karbon aktif. Berdasarkan Tabel 3 Nilai kadar zat mudah menguap pada karbon aktif kulit buah kakao secara keseluruhan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 063730-95 (Anonim 1995 dalam Fauziah 2009).

4. Kadar Karbon Terikat

Tabel 4 Hasil analisis kadar karbon terikat

Menurut Hendra dan Winarni (2003) dalam Fauziah (2009), kadar karbon terikat adalah fraksi karbon yang terikat di dalam arang selain fraksi air, zat menguap, dan abu. Menurut Pari (1996) dalam Fauziah 2009, tinggi rendahnya kadar karbon terikat di dalam arang dipengaruhi oleh nilai kadar abu, kadar zat mudah menguap dan senyawa hidrokarbon yang masih menempel pada permukaan arang juga dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin bahan yang dapat dikonversi menjadi atom karbon. Adapun hasilnya dapat dilihat Tabel 4.

Dari Tabel 4 diatas memperlihatkan nilai kadar karbon terikat pada karbon kulit kakao berkisar antara 81,59-92,21%. Nilai kadar karbon terikat yang tertinggi adalah karbon aktif dengan zat pengaktif $ZnCl_2$ 10% sebesar

92,21%. Untuk proses adsorpsi, penyerapan karbon aktif dipengaruhi oleh banyak tidaknya karbon pada karbon aktif tersebut maka kadar karbon terikat yang tinggi diduga lebih baik dibanding dengan yang rendah karena semakin tinggi persen kadar karbon terikat, sehingga semakin banyak pori-pori yang terbentuk maka semakin baik dan semakin tinggi tingkat penyerapannya terhadap adsorbat. Berdasarkan Tabel 4 Nilai kadar karbon terikat secara keseluruhan memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 063730-95 (Anonim 1995 dalam Fauziah 2009).

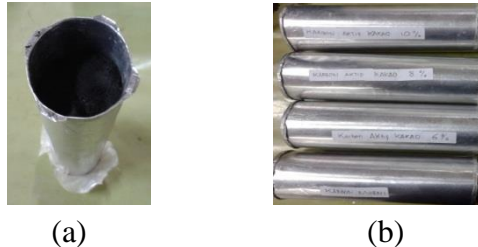
• Tahap Pembuatan Media

Jenis Karbon	Kadar Karbon Terikat (%)	SNI (%)
Karbon sebelum Aktivasi	70,05	Min 65
Karbon Aktif 6 %	81,59	
Karbon Aktif 8 %	85,08	
Karbon Aktif 10 %	92,21	

Adsorpsi

Media adsorpsi berfungsi sebagai perantara pengaliran gas dari knalpot kendaraan menuju karbon aktif sebagai penjerap emisi gas buang. Pembuatan media adsorpsi menggunakan aluminium sepanjang 13,5 cm untuk tabung bagian dalam dan 17,5 untuk tabung bagian luar. Tabung bagian dalam ditutup dengan kain yang berlapis 4 kain dan

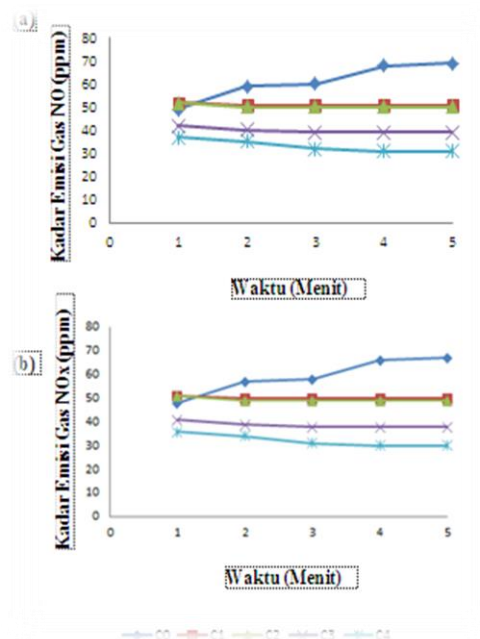
dieratkan dengan menggunakan kawat tipis. Setelah itu tabung bagian dalam dimasukkan kedalam tabung bagian luar (Gambar 5).



(a) (b)
Gambar 5 (a) Tabung dalam dan (b) Tabung luar

• Tahap Pengukuran Emisi Gas

Pengukuran emisi gas CO, NO, dan NO_x pada kendaraan bermotor roda empat (BUS Unhas) yang bermerek Mitsubishi mesin diesel tahun 2004 dibagi menjadi 3 tahap yaitu pengukuran emisi gas secara langsung (tanpa bahan penyerap), dengan menggunakan karbon aktif sebelum diaktivasi, dan karbon teraktivasi ZnCl₂ (6, 8, dan 10%).



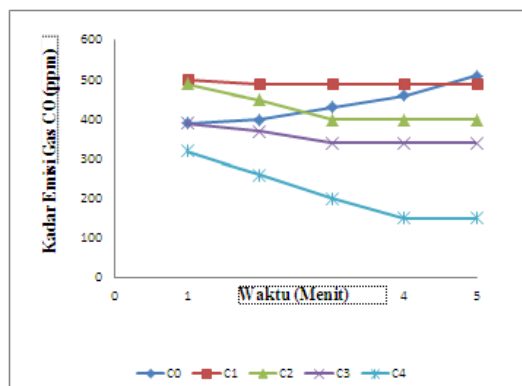
Gambar 6 Kadar emisi gas NO dan NO_x untuk berbagai karbon

penyerap. C₀ adalah tanpa media adsorpsi, C₁ adalah karbon sebelum teraktivasi, C₂ adalah karbon teraktivasi ZnCl₂ 6%, C₃ adalah karbon teraktivasi ZnCl₂ 8%, dan C₄ adalah karbon teraktivasi ZnCl₂ 10%

Tahapan pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan kadar emisi gas dari berbagai variabel yang diuji. Pengukuran emisi gas menggunakan alat instrumen PEM-9004. Sebelum melakukan pengukuran instrumen PEM-9004 dikalibrasi selama 1 menit. Setelah itu, untuk pengambilan data kualitas emisi gas dilakukan selama 5 menit. Setiap menit didapatkan hasil *print out*.

dengan peningkatan waktu emisi. Aktivasi karbon kulit kakao meningkatkan daya adsorpsi terhadap NO dan NO_x. Semakin tinggi konsentrasi larutan ZnCl₂ maka semakin tinggi kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi suatu gas. Jadi karbon teraktivasi ZnCl₂ 10% lebih tinggi penyerapannya dibanding karbon teraktivasi yang lain. Karbon yang teraktivasi ZnCl₂ 10% terjadi adsorpsi secara maksimum pada waktu penyerapan emisi gas setelah 3 menit, sedangkan karbon teraktivasi yang lainnya terjadi adsorpsi maksimum pada waktu penyerapan emisi gas selama kurang satu menit. Kadar emisi gas NO dan NO_x sebelum dan setelah pengukuran dengan menggunakan karbon teraktivasi ZnCl₂ 10% berkisar 69 ppm dan 30 ppm, sedangkan toleransi emisi gas NO dan NO_x

adalah 0,25 ppm. Sehingga pada penelitian ini terjadi penyerapan sekitar 50% namun, hal ini tidak memenuhi kualitas emisi gas NO dan NO_x pada kendaraan bermotor roda empat. Konsentrasi dan pola penyerapan gas NO oleh karbon aktif relatif sama dengan NO_x (Gambar 6). Karena gas NO_x adalah gas-gas berupa NO, NO₂, N₂O dan N₂O₅, berarti dalam gas NO_x, NO yang lebih dominan sehingga gas-gas lainnya yang ada pada gas NO_x sangat signifikan.

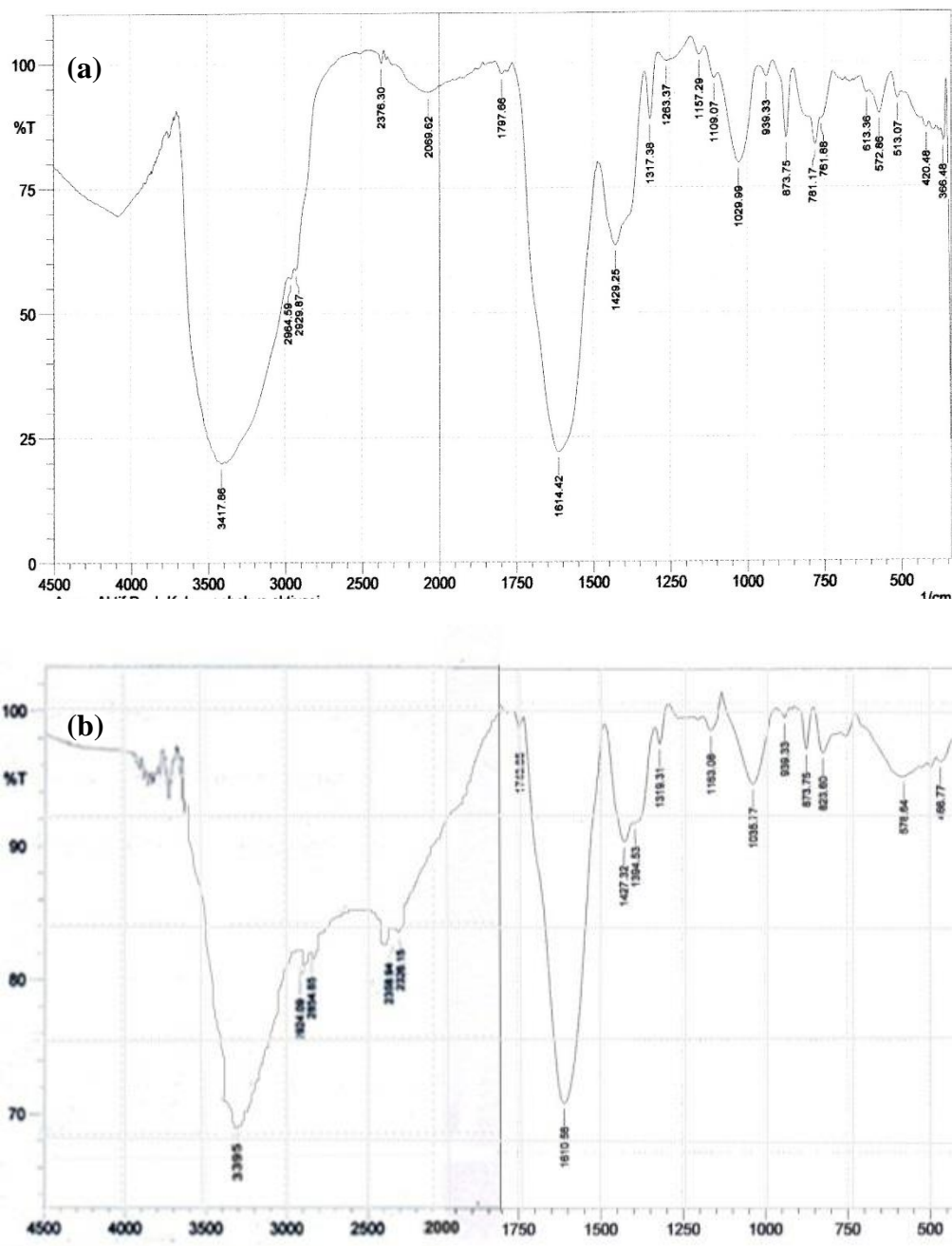


Gambar 7 Kadar emisi gas CO untuk berbagai karbon penyerap. C₀ adalah tanpa media adsorpsi, C₁ adalah Karbon sebelum teraktivasi, C₂ adalah karbon teraktivasi ZnCl₂ 6%, C₃ adalah karbon teraktivasi ZnCl₂ 8%, dan C₄ adalah karbon teraktivasi ZnCl₂ 10%

Gambar 7 memperlihatkan bahwa kadar emisi gas CO tanpa media adsorpsi, semakin lama semakin meningkat. Kadar emisi gas CO dengan karbon sebelum teraktivasi, semakin lama semakin menurun secara sedikit, hal ini berlangsung karena terjadinya penyerapan atau adsorpsi secara

signifikan. Kadar emisi gas CO dengan karbon teraktivasi ZnCl₂ 6, 8, dan 10% semakin lama semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi zat pengaktif pada karbon aktif kulit buah kakao. Berdasarkan hal itu karbon teraktivasi ZnCl₂ 10% lebih baik digunakan sebagai adsorben. (Gambar 7) semakin meningkatnya konsentrasi karbon aktif maka semakin lambat waktu adsorpsi maksimum untuk mengadsorpsi gas CO pada kendaraan bermotor roda empat tersebut. Kadar emisi gas CO yang dihasilkan sebelum dan setelah menggunakan karbon teraktivasi ZnCl₂ 10% berkisar 500 ppm dan 150 ppm, Pada penelitian ini terjadi penyerapan sekitar 70% namun, tidak memenuhi kualitas emisi gas CO pada kendaraan bermotor roda empat sesuai dengan persyaratan atau toleransi emisi gas CO sebesar 32 ppm. Tingginya kadar emisi gas CO setelah melalui penyerapan karbon teraktivasi ZnCl₂ 10% karena konsentrasi emisi gas awal yang sangat tinggi. Kadar emisi gas CO yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan, berupa gangguan pernapasan bahkan dapat menyebabkan kematian. Tingginya kadar emisi gas CO pada penelitian ini disebabkan karena telah terjadi pembakaran secara tidak sempurna pada kendaraan. Hasil pengukuran kadar emisi gas CO, NO, dan NO_x diperkuat dengan karakterisasi FTIR dan SEM.

- **Karakterisasi FTIR pada Karbon Kulit Buah Kakao**



Gambar 8 Hasil karakterisasi FTIR karbon kulit kakao sebelum teraktivasi (a) dan setelah diaktivasi menggunakan ZnCl_2 10%.

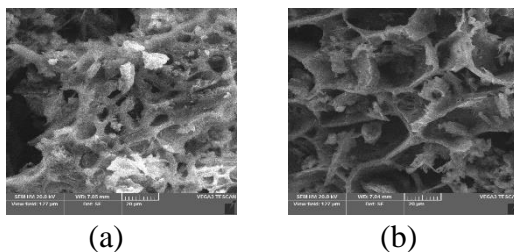
Gambar diatas menunjukkan perbandingan bilangan gelombang pita serapan karbon kulit kakao sebelum dan setelah teraktivasi ZnCl_2 10%. Pita serapan pada karbon kulit kakao sebelum dan setelah teraktivasi ZnCl_2 10% mengalami perubahan, hal ini karena

activating agent dapat menyebabkan terjadinya pergeseran berdasarkan lingkungan kimianya Gugus fungsi OH mengalami pergeseran bilangan gelombang lebih kecil dan semakin tajam setelah mengalami aktivasi, sedangkan untuk pita serapan yang melebar pada karbon sebelum

teraktivasi diperkirakan karena masih banyak H_2O . Kandungan H_2O yang banyak dapat mengurangi jumlah pori-pori pada luas permukaan. Jadi, perbedaan tersebut diperkirakan bersesuaian dengan kemampuan karbon dalam mengadsorpsi suatu gas lebih tinggi pada karbon yang teraktivasi $ZnCl_2$. Gugus fungsi lainnya seperti CH_2 , $C=O$, dan $C-H$ alifatik juga mengalami pergeseran bilangan gelombang yang sangat kecil. Walaupun demikian hal tersebut menunjukkan perbedaan lingkungan kimia. Gugus fungsi utama yang teridentifikasi sesuai dengan spektrumnya adalah OH , $C=O$, CH_2 , CH_3 , $C-O$, $C-H$ alifatik (Tabel 4.6).

• Karakterisasi SEM

Pada penelitian ini, dilakukan uji SEM untuk mengetahui perubahan morfologi permukaan karbon setelah diaktivasi. Hasil uji sem dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini:



Gambar 9 Hasil SEM karbon kulit buah kakao sebelum teraktivasi (a) dan setelah teraktivasi $ZnCl_2$ 10% (b) Perbesaran gambar 20 μm

Gambar 9 menunjukkan bahwa karbon sebelum teraktivasi memiliki permukaan pori dengan rongga kecil, rapat, dan tidak seragam. Dibandingkan dengan karbon teraktivasi $ZnCl_2$ 10% mempunyai permukaan pori dengan rongga yang

lebih besar dan seragam. Karbon yang memiliki luas permukaan pori dan rongga yang besar dan seragam memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik. Hal ini bersesuaian dengan data hasil pengukuran adsorpsi emisi gas CO , NO , dan NO_x .

D. KESIMPULAN DAN SARAN

• Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah kulit buah kakao dapat dibuat menjadi karbon aktif dengan aktivasi $ZnCl_2$ 10% melalui beberapa tahap yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi.
2. Karbon aktif yang dibuat dari limbah kulit buah kakao dapat menurunkan kandungan emisi gas buang NO dari 67 menjadi 30 ppm, NO_x dari 69 menjadi 31 ppm dengan kemampuan adsorpsi maksimum emisi gas NO , dan NO_x sekitar 50%, dan CO dari 510 menjadi 150 ppm dengan kemampuan adsorpsi maksimum sekitar 70%.
3. Karbon aktif dari kulit buah kakao dapat menurunkan kadar emisi gas CO , NO , dan NO_x pada kendaraan bermotor roda empat (BUS Mitsubishi tahun 2004) namun semuanya belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan karena konsentrasi emisi awal gas tersebut sangat tinggi.

• Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pembuatan karbon aktif kulit

buah kakao dengan menggunakan aktivasi fisika dengan variasi suhu yang tinggi.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai polutan yang lain seperti SO₂ dan CO₂ agar data yang dihasilkan lebih lengkap. Kemudian perlu dilakukan variasi waktu kejenuhan pada pengukuran emisi gas tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011, Kulit Kakao (Coklat), Limbah Bernilai Tinggi: *Teknologi*, (online), (<http://laskarpemberani.wordpress.com/2011/02/05/95/>, diakses 3 Desember 2013).
- Anonim, 2013, Pemanfaatan Limbah Kulit Kakao Menjadi Pakan Ternak Kambing Lokal: *Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Selatan* (online), (<http://laskarpemberani.wordpress.com/2011/02/05/95/>, diakses 3 Desember 2013).
- Ansar, 2014, Seng Klorida Aplikasinya Luas, (Online), <http://wawasanilmukimia.wordpress.com/2014/03/27/seng-klorida-aplikasinya-luas/>, diakses 29 April 2014).
- Arini, F., Boedisantoso, R., dan Wilujeng, S. A., 2008, Kontribusi Kegiatan Transportasi Terhadap Emisi Karbon Di Makassar, Makassar.
- Astra, I. M., 2010, Energi dan Dampaknya terhadap Lingkungan: *Meteorologi dan Geofisika* (Online), **11**, (2) (<http://www.bmkg.go.id/Puslitbang/filePDF/Dokumen1349Volume11Nomor2November2010EnergidanDampaknyaTerhadapLingkungan.pdf>, diakses 3 Desember 2013).
- Basri, S., 2010, Pencemaran Udara dalam Antisipasi Teknis Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan: *Smartek*, (online), **8**, (2), (<http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/SMARTEK/article/download/446/383>, diakses 11 November 2013).
- Basuki, K. T., 2007, Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang Disisipi TiO₂: *Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir: Batan* (Online), **1**, (2) (<http://jurnal.sttnbatan.ac.id/wp-content/uploads/2008/12/1-KrisTri%20Basuki55-66.pdf>, diakses 3 Desember 2013).
- Basuki, K. T., Setiawan, B., dan Nurimaniwathy, 2008, Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang Disisipi TiO₂, (Online), **4**, (1) ([Http://www.digilib.batan.go.id](http://www.digilib.batan.go.id), diakses 3 Desember 2013).
- Danarto, Y. C., dan Samun-T., 2008, Pengaruh Aktivasi Karbon

- dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr (IV): *Jurusan Teknik Kimia UNS Surakarta* (Online), 7, (1), ([http://eprints.uns.ac.id/690/1/Pengaruh_Aktivasi_Karbon_dari_Sekam_Padi_pada_Proses_Adsorpsi_Logam_Cr\(VI\).pdf](http://eprints.uns.ac.id/690/1/Pengaruh_Aktivasi_Karbon_dari_Sekam_Padi_pada_Proses_Adsorpsi_Logam_Cr(VI).pdf), diakses 3 Desember 2013).
- Departemen Kesehatan, 2014, Pencemaran Udara, (Online), <http://www.depkes.go.id/downloads/Udara.PDF>, diakses 29 April 2014).
- Departemen Sulawesi Selatan, 2004, Profil Kabupaten / Kota Makassar, (Online), <http://ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/timur/sulsel/makassar.pdf>, diakses 29 April 2014).
- Dwi dan Susansi, 2010, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, (Online), http://www.bmkg.go.id/BMG_Pusat/DataDokumen/Dokumen_Buku_Informasi_Perubahan_Iklim_dan_Kualitas_Udara.PDF, diakses 28 April 2014).
- Ebebezer, dkk, 2006, Pengaruh Bahan Bakar Transportasi Terhadap Pencemaran Udara dan Solusinya.
- Erna, R. M. Saleh, 1998, Ekstrak Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*), Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Fardani, E., 2014, Analisis Besaran Emisi Kendaraan Truk dengan menggunakan Program IVEM pada Ruas Jalan Arteri Di Kota Makassar., Makassar.
- Fardiaz, dan Srikandi., 1992, *Polusi Udara dan Air*, Kansius: Bogor.
- Fauziah, N., 2009, Pembuatan Arang Aktif Secara Langsung Dari Kulit Acacia Mangium Wild Dengan Aktivasi Fisika Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben, (Online), <http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/13071/E09nfa.pdf;jsessionid=F7740839DDBB2CE5BFAADB04FECCF4D0?sequence=2>, diakses 29 April 2014).
- Hendra, Dj., pari, G., 2009, Pembentukan Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, Buletin Penelitian Hasil Hutan, Jakarta.
- Institut Teknologi Sepuluh November, (online), <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-NonDegree-14528-chapter1.pdf.pdf>, diakses pada tanggal 8 Desember 2013).
- Irawan RM. B., 2006, Pengaruh Catalytic Converter Kuningan Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin: *Traksi*,
- Kementrian Lingkungan Hidup, 2012, Evaluasi Kualitas Udara Perkotaan 2012, (Online), http://www.menlh.go.id/DATA/evaluasi_kota_2012.pdf, diakses 29 April 2014).

- khairunisa, R., 2008, Kombinasi Teknik Elektrolisis dan teknik Adsorpsi menggunakan Karbon Aktif untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol dalam Air: FMIPA Depok, (Online), <http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/123302-S30417-Ratna%20Khairunisa.pdf>, diakses 29 April 2014).
- Kurniati, E., 2008, Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Arang Aktif: *Penelitian Ilmu Teknik* (Online), **8**, (2) (http://eprints.upnjatim.ac.id/2805/2/JURNAL_ELLY_4.pdf), diakses 8 Desember 2013).
- Langkong, dkk, 2011, Pemetaan Lemak dari Biji Kakao (*Theobroma cocoa L*) di Sulawesi Selatan, (Online), <http://pasca.unhas.ac.id/jurnal/files/1c968d54ed2d033c105227669ae4b8b3.pdf>, diakses 29 April 2014).
- Maryanto, D., Mulasari, S. A., dan Suryani, D., 2009, Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) dengan Penambahan Arang Aktif pada Kendaraan Bermotor Di Yogyakarta: *KES MAS*, (online), (<http://www.penganten.com/Carbon%20Aktif/proposal%20active%20carbo%20OK%20K.pdf>), diakses 3 Desember 2013).
- Masitoh, Y., F., dan Sianita-B, M., M., 2013, Pemanfaatan Arang Aktif dari Kulit Buah Coklat (*Theobroma cacao L.*) sebagai Adsorben Logam berat Cd (II) dalam Pelarut Air *Utilization Of* (*Theobroma cacao L.*): Universitas negeri Surabaya, (online), **2**, (2), (<http://ejournal.unesa.ac.id>), diakses 3 Januari 2014).
- Miranti S. T. 2012, Pembuatan Karbon aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol menggunakan *Activating Agent* H_3PO_4 dan KOH: *Departemen Teknik Kimia, DEPOK* (Online), (<http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/131558-T%2027522-Pembuatan%20karbon-Tinjauan%20literatur.pdf>), diakses 3 Desember 2013).
- Program Studi Teknik Lingkungan, 2009, Pengantar Pencemaran Udara: *Rekayasa Lingkungan* (Online), (<http://kuliah.ftsl.itb.ac.id/wp-content/uploads/2010/03/7-pengantar-pencemaran-udara.pdf>), diakses 3 Desember 2013).
- Portable Emission Measurement* (PEM) 9004, 2008, *Operating Instructions for PEM-9004 Portable Emissions Analyzer: Teledyne Analytical Instruments*, (online) (<http://www.teledyne-ai.com>), diakses 3 Desember 2013).
- Pujiyanto, F. T., 2010, Pembuatan Karbon Aktif, (Online), <http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/131558-T%2027522-Pembuatan%20karbon-Tinjauan%20literatur.pdf>, diakses 28 April 2014).

- Riyadi, S., 1982, *Pencemaran Udara*, Usaha Nasional: Surabaya.
- Sastrawijaya, A. T., 1991, *Pencemaran Lingkungan*, Rineka Cipta: Surabaya.
- Sekretaris Kota (Sekkot) Makassar, Jaya, A., 2013, *Kualitas Udara Makassar Memprihatinkan*, (online), [http://beritakotamakassar.com/index.php/metro-makassar/5599 -- kualitas- udara-makassar-meprihatinkan.html](http://beritakotamakassar.com/index.php/metro-makassar/5599--kualitas-udara-makassar-meprihatinkan.html), diakses 28 April 2014).
- Setyawati, 2002, *Pencemaran Lingkungan*, Rineka Cipta: Surabaya.
- Sitorus, B., 2010, Pengaruh Campuran Kadar Kerosin dalam Premium terhadap Emisi Gas Oksida dan Nitrogen Oksida pada Kendaraan Bermotor: *Ilmiah Fakultas Teknik* (Online), **6**, (2), (<http://portal.kopertis3.or.id/bitstream/123456789/955/1/Jurnal%20Limit%27s%20Vol%206%20No.2.pdf>), diakses 3 Desember 2013).
- Syafril, 2012, *Pencemaran Udara di Kota Makassar*: (online), <http://bio0656.wordpress.com/2012/09/13/pencemaran-udara-di-kota-makassar/>, diakses 28 April 2014).
- Syarif, 2011, *Pencemaran Udara Akibat kemacetan Lalu Lintas*, (Online), http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._SEJARAH/195903051989011-SYARIF_MOEIS/Masyarakat_Urban/Bab_IX.pdf, diakses 29 April 2014).
- Sugiarti, 2009, *Gas Pencemar Udara dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia: Chemica* (Online), **10**, (1), (<http://ojs.unm.ac.id/index.php/chemica/article/download/399/pdf>), diakses 3 Desember 2013).
- Tamin, O. Z., dan Dharmowijoyo, D. B., 2011, Menuju Terciptanya Sistem Transportasi Kota hemat Energi dan Ramah Lingkungan di Kota-Kota besar di Indonesia, (Online), (http://OFYAR%20_Z_TAMIN_Presentasi_LOKAKARYA_ENERGI.pdf), diakses 29 April 2014).
- Universitas Sumatera Utara, 2011 a, *Produksi Asam Asetat dan Asam Laktat melalui Fermentasi Biji Kakao (Theobroma cacao L.) dengan menggunakan mikroorganisme*, (Online), **10**, (1), (<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/19461/4/Chapter%20II.pdf>), diakses 3 Januari 2014).
- Universitas Sumatera Utara, 2011 b, *Hujan Asam*, (Online), <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/39834/4/Chapter%20II.pdf>, diakses 29 April 2014).